

Konarzewski, Zdzisław

Narodziny życia

Studia Płockie 5, 290-296

1977

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Ks. Zdzisław Konarzewski

NARODZINY ŻYCIA

Są ludzie, którzy z dumą stwierdzają, że pochodzą z takiego to a takiego rodu, odnanzonego i wyróżnionego, legitymującego się sławnymi antenatami; wertują kroniki, aby dogrzebać się początków genealogii własnego nazwiska. Powstaje pytanie: czy można się czegoś dowiedzieć o genealogii, o początkach tego rodu, któremu na imię: żywy organizm? Pytanie o początki pochodzenia życia na Ziemi należy bez wątpienia do bardzo interesujących. Chcielibyśmy znać zadowalającą odpowiedź, jak to się stało, że na naszej planecie pojawiły się rośliny, zwierzęta, mikroorganizmy, człowiek. Czy życie powstało na Ziemi jednorazowo, czy też wielokrotnie? Czy przywędrowało spoza Ziemi, czy narodziło się na niej? Czy osobniki poszczególnych gatunków pojawiły się w gotowej postaci, czy rozwijały się stopniowo z prostych form ku coraz doskonalszym aż do człowieka włącznie? Jednym słowem: jak powstały na Ziemi żywe organizmy?

Zaraz na początku zaznaczymy wyraźnie, że problem pojawienia się życia na Ziemi traktujemy z pozycji biologii, a więc nauki przyrodniczej, eksperymentalnej, a nie z pozycji filozofii czy teologii, które poszukują ostatecznych przyczyn i racji tej rzeczywistości, jaką jest organizm. Biologia bada bezpośrednio uwarunkowanie pojawienia się życia na Ziemi, posługując się właściwymi sobie metodami: obserwacją i eksperymentem. Stąd rezultaty badań biologicznych nie przesądają wniosków filozoficznych czy teologicznych, wniosków z innej płaszczyzny rzeczywistości. Poczyniwszy powyższe zastrzeżenia spróbujemy się zastanowić, w jaki sposób mógł powstać na Ziemi świat istot żywych.

NIECO HISTORII POGLĄDÓW

Historia biologii zna różne odpowiedzi na to pytanie. Najprostszym stonkowo rozwiązaniem było stwierdzenie, że organizmy, przynajmniej mniejszych rozmiarów, powstają z materii nieożywionej przez samoródtwo. Teoria samoródtwa miała swoich zwolenników w ciągu wielu wieków (Arystoteles, św. Augustyn, Newton, Hervey, Kartezjusz). Jednak wraz z doskonaleniem się aparatury i metod badawczych pogląd o samorodnym pochodzeniu organizmów stopniowo uszczuplano, nie bez wielkich zresztą sporów, aż nic z niego nie pozostało. W początkach XX w. szwedzki uczoney Svante Arrhenius próbuje w zupełnie inny sposób dać odpowiedź na to trudne pytanie. Sądzi on, że cały kosmos wypełniony jest zarodnikami życia. Życie we wszechświecie jest wieczne, a rozwija się tam, gdzie zaistnieją odpowiednie po temu wa-

runki. Późniejsze dane o szkodliwym dla organizmów działaniu promieniowania kosmicznego spowodowało upadek i tej hipotezy.

Współczesne próby stworzenia hipotez na temat powstania życia na Ziemi stawiają sprawę w ten sposób: w obecnych warunkach powstanie żywego organizmu z materii nieożywionej nie jest możliwe, ale było możliwe dawniej. Aby lepiej zrozumieć tę możliwość dobrze będzie zwrócić uwagę na niektóre cechy odróżniające żywy organizm od przedmiotów nieożywionych. Wymienić tu należy takie właściwości jak: szczególny skład i organizacja istot żywych, przemiana materii i energii, autoregulacja, reprodukcja, automorfogeneza, czyli zjawisko budowania się struktury organicznej przez nią samą.

NIECO CHEMII ORGANICZNEJ

Każdy organizm budują określone związki chemiczne dobrane w odpowiedniej proporcji, a więc woda, różne sole mineralne i w szczególności związki organiczne złożone w ogromnej większości z węgla, wodoru, tlenu i azotu. Wśród związków organicznych wyróżnia się cztery wielkie grupy, mianowicie: węglowodany, tłuszcze, białka i kwasy nukleinowe. Węglowodany i tłuszcze są stosunkowo prostymi związkami i w organizmie spełniają rolę przede wszystkim materiału energetycznego. Białka natomiast są substancjami bardzo złożonymi, a nadto odznaczają się dużą swoistością budowy i działania. Częsteczka białka — to długi łańcuch, w którym rolę ogniów spełniają aminokwasy. Właściwości białka zależą od ilości aminokwasów, ich kolejności w łańcuchu białkowym, sposobu wzajemnego ułożenia itd. Zmiana kolejności położenia jednego nawet aminokwasu w cząsteczce białka powoduje zmianę własności tejże cząsteczki. Jeżeli się zważy, że w organizmie występuje ponad dwadzieścia różnych aminokwasów, że w skład jednej cząsteczki białka wchodzi setki tychże powtarzających się aminokwasów, łatwo wtedy zrozumieć, iż możliwości zróżnicowania budowy cząsteczki białka są wprost nieograniczone. Np. jeśli cząsteczkę białka buduje jedynie 10 różnych aminokwasów, a łańcuch cząsteczki składa się z 300 ogniów, to teoretycznie możliwość zróżnicowania budowy tej cząsteczki wyraża się liczbą 10^{300} , a to jest liczba olbrzymia (jedynka z trzystu zerami). Określone zaś białko w organizmie danego gatunku realizuje jedną, ściśle ustaloną kombinację spośród tej ogromnej liczby. Do tego należy dodać, że cząsteczka białka może być w różny sposób zwinięta, co nie pozostaje bez znaczenia dla jej właściwości. Wziąwszy to wszystko pod uwagę, należy stwierdzić, że białka należą do związków bardzo złożonych i zróżnicowanych.

Drugą ważną i także złożoną grupę związków organicznych stanowią kwasy nukleinowe. Posiadają one nieco prostszą budowę niż białka, niemniej są również związkami o dużym ciężarze cząsteczkowym i zróżnicowanym składzie. Związki mineralne, z których zbudowana jest materia nieorganiczna, są w porównaniu ze związkami organicznymi o wiele prostsze.

Już tych kilka zdań orientuje nas w specyfice budowy związków organicznych i różnicy między światem organicznym a mineralnym.

NIECO BIOCHEMII

Żywy organizm jednak — to nie tylko specyficzne związki chemiczne, to także dynamika procesów związanych z przemianą materii i energii. Najmniejsza nawet strukturalna częśćka organizmu — komórka — jest układem

o dynamicznej równowadze; układem, w którym przebiega równocześnie kilka tysięcy reakcji, nie kolidując ze sobą. Procesy syntezy budują najrozmaitsze związki chemiczne potrzebne organizmowi, procesy rozkładu degradują je, dostarczając tym samym energii nieustannie potrzebnej w procesach życiowych. Wszystko odbywa się w określonym porządku, rytmie i tempie. Co więcej: jeśli zaistnieją zaburzenia w tym układzie, organizm natychmiast włącza odpowiednie mechanizmy powodujące powrót układu do stanu normalnego. Samoregulujący się, wysoce skomplikowany układ pozostający w ciągłej równowadze, ale równowadze dynamicznej — oto budzący podziw żywy organizm. Uwagi te odnoszą się nie tylko do wysoko zorganizowanych zwierząt, czy człowieka, ale także do jednokomórkowych małych istot, dla których kropla wody jest dużą przestrzenią życiową. Najlepsze nawet mózgi elektroniczne nie dadzą się nawet porównać z mikroskopijnej wielkości pantofelkiem czy jednokomórkowym glonem.

Czyż więc tak bardzo złożona rzeczywistość w ogóle mogła powstać samorzutnie z nieorganicznej, dość prosto utworzonej materii? Czy istnieje jakiegokolwiek prawdopodobieństwo biogenezy ze związków mineralnych? Wydaje się, że możliwość taka jednak istnieje. Dlaczego? W skład organizmu wchodzi tylko i wyłącznie pierwiastki znane ze składników, związków mineralnych. Po śmierci zresztą organizm ulega rozkładowi do prostych związków mineralnych występujących w glebie, w powietrzu. Można sobie wyobrazić, że w odpowiednich warunkach reakcje biegnące w przeciwnym kierunku doprowadziły do syntezy związków i struktur organicznych. Jeśli dzisiaj rodzi się nowy organizm (zwierzęcy czy roślinny), budowany on jest z tychże prostych substancji znajdujących się w glebie i atmosferze.

NIECO MATEMATYKI

Powstaje jednak pytanie o wielkość prawdopodobieństwa samorzutnego powstania tak bardzo złożonej rzeczywistości. George Wald¹ przedstawia sprawę tego prawdopodobieństwa w sposób następujący. Czasem prawdopodobieństwo zaistnienia jakiegoś przypadku można określić z góry, np. jeśli rzuci się na stół monetę, to prawdopodobieństwo, iż spadnie ona do góry

reszką wynosi $\frac{1}{2}$; prawdopodobieństwo wyrzucenia jedynki na sześcienną

kostce wynosi $\frac{1}{6}$. Jeśli wyrzuca się dwie kostki, to prawdopodobieństwo jed-

noczesnego wyrzucenia obydwu jedynek wynosi $\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{36}$; przy dziesięciu

kostkach prawdopodobieństwo to zmniejszy się do $\frac{1}{60.466.176}$. Cóż zatem

powiedzieć o prawdopodobieństwie wyrzucenia jedynki na wszystkich kostkach, jeśli jest ich cały worek? Jest ono bardzo małe, ale istnieje. Prawdopodobieństwo to znacznie wzrasta, jeśli ponawiać próby. Jeżeli szansa jednorazowego pojawienia się jakiegoś zdarzenia wynosi np. $\frac{1}{1000}$, to po tysięcz-

nym ponowieniu próby szansa ta wzrośnie do $\frac{630}{1000}$, czyli 3 szanse na 5.

Jeśli zatem przyjmujemy, że istniał dostatecznie długi czas do powtarzania wielu prób, to prawdopodobieństwo samorzutnego powstania komórki

wzrośnie i stanie się łatwiejsze do przyjęcia. Należy przy tym pamiętać, że nie wszystkie kombinacje aminokwasów w białkach czy nukleotydów w kwasach nukleinowych są jednakowo prawdopodobne; jedne z nich powstają łatwiej niż inne.

NIECO GEOLOGII HISTORYCZNEJ

Geologowie skłonni są twierdzić, że rzeczywiście okres formowania się żywych organizmów, powstawania życia był długi. Dzisiaj nauka zna sposoby określenia wieku poszczególnych warstw geologicznych. Jednym z przydatniejszych jest tzw. „zegar radioaktywny”. Jak wiadomo pierwiastki radioaktywne ulagają samorzutnemu rozpadowi z określoną szybkością, dając w rezultacie po szeregu przemian pierwiastki trwałe. Znając ich ilość, można obliczyć czas rozpadu pierwiastków radioaktywnych. Kuźnicki i Urbanek² ustalają wiek skorupy Ziemi na około 4,6 miliardów lat. Ci sami autorzy stwierdzają, iż wykryte w Południowej Rodezji wapienne struktury, będące pochodzenia organicznego, liczą sobie 2,7 mld lat. Prawdopodobnie także pewne skały pochodzące z Tarczy Kanadyjskiej i liczące 2,5 mld lat są pochodzenia organicznego. Ponieważ początek kambru — okresu, z którego zachowały się wyraźne skamieniałości roślinne i zwierzęce — ustala się na 500—600 milionów lat, prekambryjski okres historii życia (Cryptozoicum) trwałby około 2 miliardy lat, a więc 3—4 razy dłużej od Phanerozoicum (okresu od początku kambru do dziś). I tu właśnie znajdujemy ów konieczny parametr biogenezy — czas. Jeśli spośród 2 miliardów lat choćby połowę przeznaczyć na proces biogenezy², to i tak otrzymamy wystarczający okres na bardzo wiele prób syntezy, z których jedna udana byłaby wystarczającym warunkiem do powstania żywego organizmu.

ETAPY BIOGENEZY

W procesie biogenezy wyróżnia się zwykle trzy stadia: chemiczne, strukturalne i organizmalne. Zwrócimy uwagę na dwa pierwsze, trzecie bowiem jest już właściwie elementem zagadnienia procesu ewolucji, która nie wchodzi w zakres obecnych rozważań.

I. Stadium chemiczne. Pierwotna atmosfera Ziemi nie zawierała wolnego tlenu. Był on związany z innymi pierwiastkami, np. wodorem, metalami. W atmosferze tej istniały proste związki chemiczne. Dauviller¹ za substancje wyjściowe uważa takie związki jak: para wodna, amoniak i dwutlenek węgla. Z nich powstawały związki bardziej złożone, np. z wody i dwutlenku węgla powstać mógł aldehyd mrówkowy: $H_2O + CO_2 \rightarrow HCHO + O_2$. Polimeryzacja HCHO doprowadziła do powstania glikozy ($C_6H_{12}O_6$), sacharozy ($C_{12}H_{22}O_{11}$), następnie węglowodanów złożonych, takich jak skrobia, błonnik i inne. Kondensacja tlenu węgla z amoniakiem doprowadza do powstania amidu, który reagując z kolei z aldehydem mrówkowym tworzy najprostszy aminokwas — glicynę: $2CO_2 + \text{promienie ultrafiolet.} \rightarrow 2CO + O_2$; $CO + NH_3 \rightarrow CHO \cdot NH_2$; $CHO \cdot NH_2 + HCHO \rightarrow CH_2 \cdot NH_2 - COOH$. Glicyna — to już cegiełka budująca białko. W dalszym ciągu reakcji chemicznej mogą doprowadzić do bardziej złożonych związków.

Inny powszechnie znany autor koncepcji biogenezy, Oparin, stoi na stanowisku, że pierwotna atmosfera nie zawiera CO_2 . Źródłem zaś węgla były zredukowane jego związki, jak cyjan, węgliki, węglowodory. Proste te zwią-

zki reagować miały z przegrzaną parą wodną pierwotnej atmosfery dając bardziej złożone substancje, m.in. aminokwasy. Miejszem tych reakcji, zdaniem Oparina, była początkowo atmosfera, potem, gdy temperatura spadła poniżej 100°C, ciepłe oceany.

Przebieg reakcji biochemicznych możliwy jest jedynie przy współdziałaniu biokatalizatorów czyli enzymów, które mają budowę białkową. Skoro nie było jeszcze białka, nie było i enzymów, w jaki więc sposób katalizowane były reakcje chemiczne? Trudność znika, jeśli się zważy, że enzymy jedynie znacznie przyspieszają te reakcje, których przebieg i bez udziału enzymów jest możliwy, a jedynie jego tempo jest wolne. Łyżeczka cukru w szklance herbaty wypitej przez człowieka ulega utlenieniu i rozkładowi w ciągu kilkunastu minut. Ta sama ilość cukru w nieobecności enzymów utlenia się bardzo powoli, ale jednak utlenia się i rozkłada. A zatem długi okres biogenezy pozwala rozwiązać i tę trudność.

Reakcje syntezy związków organicznych są reakcjami endoergicznymi, wymagają nakładu energii. Dla żywego organizmu źródłem tej energii jest rozkład substancji organicznych, zwłaszcza cukrowych i tłuszczowych; te zaś syntetyzowane są w ogromnej większości wypadków kosztem energii słonecznej. Z energii tej jednak mogą korzystać jedynie rośliny zielone, posiadające chlorofil. Co było źródłem energii dla reakcji syntezy, gdy nie było jeszcze roślin zielonych? Wskazuje się przynajmniej trzy możliwe źródła energii: rozpad pierwiastków promieniotwórczych w litosferze Ziemi, elektryczna aktywność atmosfery i, zdaniem większości autorów (Oparin, Dauviller, Bernal, Haldane), najefektywniejsze źródło — promieniowanie nadfiołkowe². W pierwotnej beztlenowej atmosferze Ziemi nie istniał obecny dzisiaj w górnych warstwach atmosfery ozonowy pas ochronny przed promieniowaniem nadfiołkowym. Dzięki temu ilość dochodzących do powierzchni Ziemi promieni nadfiołkowych była duża, a kosztem energii tych promieni przebiegały reakcje syntezy. Harold Urey, laureat nagrody Nobla za prace z chemii, największe znaczenie przypisuje wyładowaniom elektrycznym. Jego uczeń, Miller, wykonał następujące doświadczenie: w mieszaninie prostych gazów (metan, amoniak, wodór, para wodna) spowodował ciągłe wyładowania elektryczne. Wykonana po tygodniu analiza chemiczna wykazała obecność kilku aminokwasów, zwłaszcza glicyny i alaniny (cyt. za G. Wald¹).

II. Stadium strukturalne. Aminokwasy łatwo łączą się ze sobą przez tzw. wiązanie peptydowe. Powstają wtedy łańcuchy złożone z tych związków (peptydy i polipeptydy). Polipeptydy łącząc się ze sobą mogą utworzyć cząsteczkę białka. Owe procesy syntezy zachodziły prawdopodobnie w ciepłych oceanach, w których rozproszona była materia organiczna. Dzisiaj materia organiczna skupiona jest w organizmach oddzielonych od otoczenia. Koncentracja więc i izolacja materii byłaby dalszym etapem biogenezy. Oparin zdolność koncentracji pierwotnej materii organicznej widzi w koloidalnej naturze związków białkowych rozproszonych w wodzie. Roztwory koloidalne mają zdolność koacerwacji, tzn. oddzielenia się od fazy płynnej z zachowaniem jednak otoczki wodnej na cząsteczkach białka. Takie koacerwaty zawieszony w roztworze mogły wchłaniać mniejsze kropelki materii organicznej, powiększać dzięki temu swoją objętość, a potem dzielić się na koacerwaty potomne. Można by w tym widzieć pierwotne odżywianie się (heterotroficzne), wzrost i rozmnażanie się. Wchłanianie obcych kropelek umożliwiło przebieg nowych reakcji wewnątrz koacerwatu, prowadzących do coraz większej komplikacji składu i struktury.

W kolejnym etapie musiały wytworzyć się różnego rodzaju struktury komórkowe, takie jak jądro z kwasami nukleinowymi, mitochondria, mikro-

somy, plastydy itd. Ważnym wydarzeniem w biogenezie było powstanie chlorofilu, który umożliwił autotroficzne odżywianie się roślin. W jaki sposób jednak doszło do utworzenia tych elementów — trudno powiedzieć. Biologia zna dzisiaj wprawdzie pewne struktury infrakomórkowe — wirusy — które można by uważać i faktycznie w pewnym okresie uważano je za formy przejściowe między cząsteczkami chemicznymi a strukturą komórkową. Dziś jednak biologowie są zdania, że wirusy — to twory uwstecznione na skutek absolutnego pasożytnictwa.

Nietrudno zauważyć, że przy omawianiu sprawy powstania żywych organizmów pojawiają się ciągle słowa: możliwość, można, nie da się wykluczyć itp. Nie jest to zatem właściwa argumentacja, ale wskazanie możliwej drogi biogenezy. Niektóre z elementów tej hipotezy wydają się bardziej uzasadnione, np. istnienie pierwotnej atmosfery o właściwościach redukujących i wysokiej temperaturze, synteza prostych związków węgla przebiegająca na koszt energii niesionej przez promienie ultrafioletowe, kondensacja i polimeryzacja prostych związków organicznych w kompleksy bardziej złożone. W jaki sposób jednak doszło do powstania struktur plazmatycznych, wytworzenia autotrofii (chlorofilu), wszystkich bardzo złożonych elementów najprostszej nawet komórki — pozostaje w sferze domysłów.

Istnieją przy tym i dodatkowe trudności. Jedną z nich jest fakt, że w przyrodzie procesy samorzutnego rozpadu górują nad procesami samorzutnej syntezy. Jak więc się to stało, że mimo wszystko doszło do syntezy tak złożonych związków i struktur? Trudność jest duża. A dalej. Promienie nadfioletowe, które miałyby dostarczać energii do syntezy związków, są jednocześnie szkodliwe dla tworzących się organizmów. Gdy się zaś przyjmie, że w późniejszej fazie biogenezy powstała dostateczna ilość tlenu do wytworzenia warstwy ozonowej naokoło Ziemi, to powstaje pytanie, w jaki sposób wytworzone związki węglowe ustrzegły się rozkładu na skutek utlenienia?

Jest rzeczą oczywistą, iż obecnie zagadnienie biogenezy pozostaje i prawdopodobnie na przyszłość pozostanie jedynie hipotezą wskazującą raczej możliwość powstania życia niż jego rzeczywisty proces powstawania. Jeśli jednak mamy do wyboru alternatywę: przyjąć prawdopodobną hipotezę albo nie wiedzieć nic — rozsądek każe przyjąć wyjaśnienie prawdopodobne. Mógłby ktoś w tym miejscu zgłosić inną alternatywę: życie stworzył Bóg. Należy jednak pamiętać, iż przez cały czas poruszamy się na płaszczyźnie przyrodniczej, a nie szukamy przyczyn ostatecznych. Przedstawiona powyżej prawdopodobna droga biogenezy nie tylko nie wyklucza Boga, ale wydaje się implikować Jego działanie, podobnie jak śledzenie stopniowego powstawania auta składanego przez robotników na taśmie montażowej nie tylko nie wyklucza, ale wręcz zakłada wcześniejszą pracę inżyniera-konstruktora. Bóg jest Stwórcą całego świata, a więc i żywych organizmów zamieszkujących naszą Ziemię. Jest to prawda naszej wiary. Prawda ta jednak nie jest równoznaczna z twierdzeniem, że Bóg oddzielnym aktem stworzył z niczego każdy gatunek żywych istot. Jeśli przyjmiemy, iż Bóg stworzywszy z niczego materię nadał jej prawa, według których nieustannie się rozwija, wytwarzając między innymi żywe organizmy — to taka koncepcja nie tylko nie podważa prawdy wiary o stworzeniu życia na Ziemi, ale ukazuje Stwórcę w pełni mądrości i wszechmocy. Pan Bóg jako wspaniały Inżynier Wszechświata ustanowiwszy jego prawa rozwoju (odczytywane przez nas jako prawa przyrody), kieruje tym rozwojem według swojej mądrości.

Jeśli życie powstało z materii nieożywionej w przeszłości, to dlaczego nie powstaje obecnie? Sprawa jest zrozumiała. Po pierwsze warunki fizyko-

chemiczne sprzyjające biogenezie minęły bezpowrotnie. Po drugie — obecnie istnieje tak wielka konkurencja o pożywienie w przyrodzie, że każda substancja organiczna jest natychmiast „zjadana” przez organizmy. Gdyby jednak nawet przyjąć możliwość syntetyzowania materii organicznej na podobieństwo epok ubiegłych, to człowiek ze swoją niezwykle krótką historią w skali geologicznej nic nie potrafiłby zaobserwować w procesie trwającym miliony lat.

Czy uczeni zdołają sztucznie stworzyć żywy organizm? Istnieje prawdopodobieństwo otrzymania na drodze syntetycznej nawet dość złożonych związków białkowych (peptydy, polipeptydy) czy kwasów nukleinowych. Jednak ta substancja organiczna nie będzie żywa. Żywy organizm implikuje powstanie niesłychanie złożonych układów, układów dynamicznych, przeprowadzających nieustannie procesy metaboliczne — a czy da się to uzyskać na drodze sztucznej syntezy? Dzisiaj chyba nic na ten temat jeszcze nie można powiedzieć.

Jeśli przyjmiemy nakreśloną drogę biogenezy, można się pokusić o pewien dalszy wniosek. Otóż we wszechświecie istnieje prawdopodobnie wiele układów planetarnych podobnych do naszego układu słonecznego, posiadających podobne planety do naszej Ziemi. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby przyjąć, że historia tych planet przebiegała, przebiega lub będzie przebiegać podobnie do historii Ziemi. Nie da się więc wykluczyć, że i na tych planetach powstały lub powstaną żywe organizmy. Jeśli więc w przyszłości ludzie wylądują na jakiejś planecie innych słońc, mogą zostać powitani przez żywe istoty rodzime.

LITERATURA

1. Wald G., Powstanie życia, w: Fizyka i chemia życia, W-a 1959, Biblioteka Problemów, PWN, s. 15—47.
2. Kuźnicki L., Urbanek A., Zasady nauki ewolucji, t. I, W-a 1967, PWN, s. 170—209.